

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Ястребов Олег Александрович  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 27.05.2024 15:52:32  
Уникальный программный ключ:  
ca953a0120d891083f939673078ef1a989dae18a

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»**

**Инженерная академия**

(наименование основного учебного подразделения (ОУП)-разработчика ОП ВО)

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В НАНОИНДУСТРИИ**

(наименование дисциплины/модуля)

**Рекомендована МССН для направления подготовки/специальности:**

### **28.03.02 НАНОИНЖЕНЕРИЯ**

(код и наименование направления подготовки/специальности)

**Освоение дисциплины ведется в рамках реализации основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОП ВО):**

### **НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ**

(наименование (профиль/специализация) ОП ВО)

**2024 г.**

## 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Mathematical Modelling in Nanoindustry» входит в программу бакалавриата «Нанотехнологии и наноматериалы в приборостроении» по направлению 28.03.02 «Наноинженерия» и изучается в 6 семестре 3 курса. Дисциплину реализует Базовая кафедра «Нанотехнологии и микросистемная техника». Дисциплина состоит из 4 разделов и 40 тем и направлена на изучение основ математического моделирования в области нанотехнологий

Целью освоения дисциплины является освоение и применение современных физико-математических методов и методов искусственного интеллекта для решения профессиональных задач, а также составление практических рекомендаций по использованию полученных результатов

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Математическое моделирование в наноиндустрии» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций (части компетенций):

*Таблица 2.1. Перечень компетенций, формируемых у обучающихся при освоении дисциплины (результаты освоения дисциплины)*

Шифр	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции (в рамках данной дисциплины)
ПК-2	Способен осуществлять моделирование принципиальных схем микроэлектромеханической системы и цифровых схем управления	ПК-2.1 Знает программное обеспечение для моделирования принципиальных схем микроэлектромеханической системы и цифровых схем управления; ПК-2.2 Умеет выполнять моделирование принципиальных схем микроэлектромеханической системы и цифровых схем управления;
ПК-8	Способен осуществлять подготовку технических решений по оптимизации технологического процесса изготовления микро- и наноразмерных электромеханических систем	ПК-8.1 Знает типовые технические решения по оптимизации технологического процесса изготовления микро- и наноразмерных электромеханических систем; ПК-8.2 Умеет осуществлять подготовку технических решений по оптимизации технологического процесса изготовления микро- и наноразмерных электромеханических систем;

## 3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «Математическое моделирование в наноиндустрии» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы высшего образования.

В рамках образовательной программы высшего образования обучающиеся также осваивают другие дисциплины и/или практики, способствующие достижению запланированных результатов освоения дисциплины «Математическое моделирование в наноиндустрии».

*Таблица 3.1. Перечень компонентов ОП ВО, способствующих достижению запланированных результатов освоения дисциплины*

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
------	--------------------------	---	--

<b>Шифр</b>	<b>Наименование компетенции</b>	<b>Предшествующие дисциплины/модули, практики*</b>	<b>Последующие дисциплины/модули, практики*</b>
ПК-2	Способен осуществлять моделирование принципиальных схем микроэлектромеханической системы и цифровых схем управления	Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы); Моделирование полупроводниковых наноструктур для информационных систем;	Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы); Технологическая практика; Преддипломная практика;
ПК-8	Способен осуществлять подготовку технических решений по оптимизации технологического процесса изготовления микро- и наноразмерных электромеханических систем	Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы); Теоретическая механика;	Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы); Технологическая практика; Преддипломная практика;

\* - заполняется в соответствии с матрицей компетенций и СУП ОП ВО

\*\* - элективные дисциплины /практики

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Mathematical Modelling in Nanoindustry» составляет «4» зачетные единицы.

Таблица 4.1. Виды учебной работы по периодам освоения образовательной программы высшего образования для очной формы обучения.

Вид учебной работы	ВСЕГО, ак.ч.		Семестр(-ы)
			6
Контактная работа, ак.ч.	72		72
Лекции (ЛК)	36		36
Лабораторные работы (ЛР)	36		36
Практические/семинарские занятия (СЗ)	0		0
Самостоятельная работа обучающихся, ак.ч.	45		45
Контроль (экзамен/зачет с оценкой), ак.ч.	27		27
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>ак.ч.</b>	<b>144</b>	<b>144</b>
	<b>зач.ед.</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

Общая трудоемкость дисциплины «Mathematical Modelling in Nanoindustry» составляет «4» зачетные единицы.

Таблица 4.2. Виды учебной работы по периодам освоения образовательной программы высшего образования для заочной формы обучения.

Вид учебной работы	ВСЕГО, ак.ч.		Семестр(-ы)
			6
Контактная работа, ак.ч.	12		12
Лекции (ЛК)	6		6
Лабораторные работы (ЛР)	6		6
Практические/семинарские занятия (СЗ)	0		0
Самостоятельная работа обучающихся, ак.ч.	123		123
Контроль (экзамен/зачет с оценкой), ак.ч.	9		9
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>ак.ч.</b>	<b>144</b>	<b>144</b>
	<b>зач.ед.</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

*Таблица 5.1. Содержание дисциплины (модуля) по видам учебной работы*

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)		Вид учебной работы*
Раздел 1	Mathematical introduction. Calculation of variations as a means of solving physical problems	1.1	Method of variations in problems with fixed boundaries	ЛК, ЛР
		1.2	Variation and its properties	ЛК, ЛР
		1.3	Euler equation	ЛК, ЛР
		1.4	Functionals depending on derivatives of the first and higher orders	ЛК, ЛР
		1.5	Functionals depending on functions of several independent variables	ЛК, ЛР
		1.6	Variational problems in parametric form	ЛК, ЛР
		1.7	Method of variations in problems with moving boundaries	ЛК, ЛР
		1.8	Variational problems for a conditional extremum	ЛК, ЛР
		1.9	Direct methods in variational problems	ЛК, ЛР
		1.10	Euler finite difference method	ЛК, ЛР
		1.11	Ritz method	ЛК, ЛР
		1.12	Kantorovich method	ЛК, ЛР
Раздел 2	Second quantization of systems consisting of many fermions	2.1	Representation of occupation numbers for systems of noninteracting fermions at low energies	ЛК, ЛР
		2.2	Systems of fermions interacting through pair forces	ЛК, ЛР
		2.3	Statistical operator	ЛК, ЛР
		2.4	Density matrix	ЛК, ЛР
		2.5	Method of Equations of Motion for Particle Fields	ЛК, ЛР
		2.6	Hartree-Fock equation	ЛК, ЛР
Раздел 3	Theory of Thomas-Fermi	3.1	Relationship between electron density and potential	ЛК, ЛР
		3.2	The principle of minimum energy and chemical potential	ЛК, ЛР
		3.3	Properties of atoms and ions	ЛК, ЛР
		3.4	Introduction of exchange effects	ЛК, ЛР
		3.5	Correlation within the framework of the Thomas-Fermi theory	ЛК, ЛР
		3.6	Density Gradient Corrections	ЛК, ЛР
		3.7	Screening of charges in metals and semiconductors	ЛК, ЛР
		3.8	The virial theorem and scaling relations in the Thomas-Fermi theory	ЛК, ЛР
Раздел 4	Fundamentals of the density functional method. Hohenberg Kohn's theorem	4.1	Hohenberg-Kohn theorem	ЛК, ЛР
		4.2	Connection between sets of Hamiltonians and density functions	ЛК, ЛР
		4.3	Total energy of the ground state of a Fermi system as a functional of particle density	ЛК, ЛР
		4.4	Average values of physical quantities as density functionals	ЛК, ЛР
		4.5	Variational approach and self-consistent equations	ЛК, ЛР
		4.6	Approximations for the exchange-correlation energy	ЛК, ЛР
		4.7	Local density approximation	ЛК, ЛР
		4.8	Description of the exchange-correlation energy using the pair correlation function	ЛК, ЛР
		4.9	Approximations for the kinetic energy functional	ЛК, ЛР
		4.10	Gradient expansion for the kinetic energy functional	ЛК, ЛР
		4.11	The virial theorem and scaling relations in the density functional method as criteria for the correctness of the results obtained	ЛК, ЛР
		4.12	Perturbation theory in the density functional method	ЛК, ЛР
		4.13	Linear response of the system to an external disturbance	ЛК, ЛР

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)		Вид учебной работы*
		4.14	Ensembles at nonzero temperature. excited states	ЛК, ЛР

\* - заполняется только по **ОЧНОЙ** форме обучения: ЛК – лекции; ЛР – лабораторные работы; СЗ – практические/семинарские занятия.

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 6.1. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Тип аудитории	Оснащение аудитории	Специализированное учебное/лабораторное оборудование, ПО и материалы для освоения дисциплины (при необходимости)
Лекционная	Аудитория для проведения занятий лекционного типа, оснащенная комплектом специализированной мебели; доской (экраном) и техническими средствами мультимедиа презентаций.	
Лаборатория	Аудитория для проведения лабораторных работ, индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная комплектом специализированной мебели и оборудованием.	
Для самостоятельной работы	Аудитория для самостоятельной работы обучающихся (может использоваться для проведения семинарских занятий и консультаций), оснащенная комплектом специализированной мебели и компьютерами с доступом в ЭИОС.	

\* - аудитория для самостоятельной работы обучающихся указывается **ОБЯЗАТЕЛЬНО!**

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. Демьянов, Александр, Николай Евсеев, and Олег Динариев. Основы метода функционала плотности в гидродинамике. Litres, 2022
2. Zhu, Chaoyuan, ed. Time-Dependent Density Functional Theory: Nonadiabatic Molecular Dynamics. CRC Press, 2022

Дополнительная литература:

1. Барановский, В.И. Квантовая механика и квантовая химия: учебное пособие - Санкт-Петербург: Лань, 2019. - 428 с.

2. Chen, Jianhua, Zhenghe Xu, and Ye Chen. "Electronic structure and surfaces of sulfide minerals." Density functional theory and applications (2020): 181-236

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

1. ЭБС РУДН и сторонние ЭБС, к которым студенты университета имеют доступ на основании заключенных договоров

- Электронно-библиотечная система РУДН – ЭБС РУДН

<http://lib.rudn.ru/MegaPro/Web>

- ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <http://www.biblioclub.ru>

- ЭБС Юрайт <http://www.biblio-online.ru>
- ЭБС «Консультант студента» [www.studentlibrary.ru](http://www.studentlibrary.ru)
- ЭБС «Троицкий мост»

## 2. Базы данных и поисковые системы

- электронный фонд правовой и нормативно-технической документации

<http://docs.cntd.ru/>

- поисковая система Яндекс <https://www.yandex.ru/>
- поисковая система Google <https://www.google.ru/>
- реферативная база данных SCOPUS

<http://www.elsevierscience.ru/products/scopus/>

*Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся при освоении дисциплины/модуля\*:*

1. Курс лекций по дисциплине «Математическое моделирование в наноиндустрии».

\* - все учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся размещаются в соответствии с действующим порядком на странице дисциплины **в ТУИС!**

## **8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Оценочные материалы и балльно-рейтинговая система\* оценивания уровня сформированности компетенций (части компетенций) по итогам освоения дисциплины «Математическое моделирование в наноиндустрии» представлены в Приложении к настоящей Рабочей программе дисциплины.

\* - Ом и БРС формируются на основании требований соответствующего локального нормативного акта РУДН.

**РАЗРАБОТЧИК:**

Доцент

*Должность, БУП*

Карцев Алексей Иванович

*Фамилия И.О.*

**РУКОВОДИТЕЛЬ БУП:**

Заведующий кафедрой

*Должность БУП*

Попов Сергей Викторович

*Фамилия И.О.*

**РУКОВОДИТЕЛЬ ОП ВО:**

Доцент

*Должность, БУП*

Макеев Мстислав

Олегович

*Фамилия И.О.*